



Московский государственный университет
Факультет вычислительной математики и кибернетики

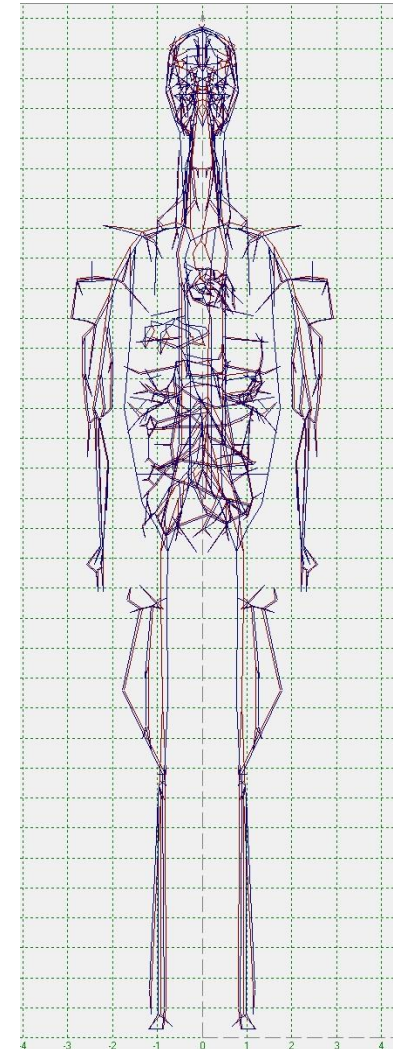
Разработка принципов создания синтетических баз данных на основе прямого математического моделирования гемодинамики

Кочетов Е. В.,
Абакумов М.В.,
Буничева А. Я.,
Мухин С. И.

Математическое моделирование гемодинамики

- Производится моделирование сердечно-сосудистой системы человека при помощи программного комплекса CVSS.
- Математическое моделирование гемодинамики осуществляется в квазиодномерном приближении. На каждом сосуде решается система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = -8\pi\nu \frac{u}{S}, \\ S = S(p). \end{cases}$$

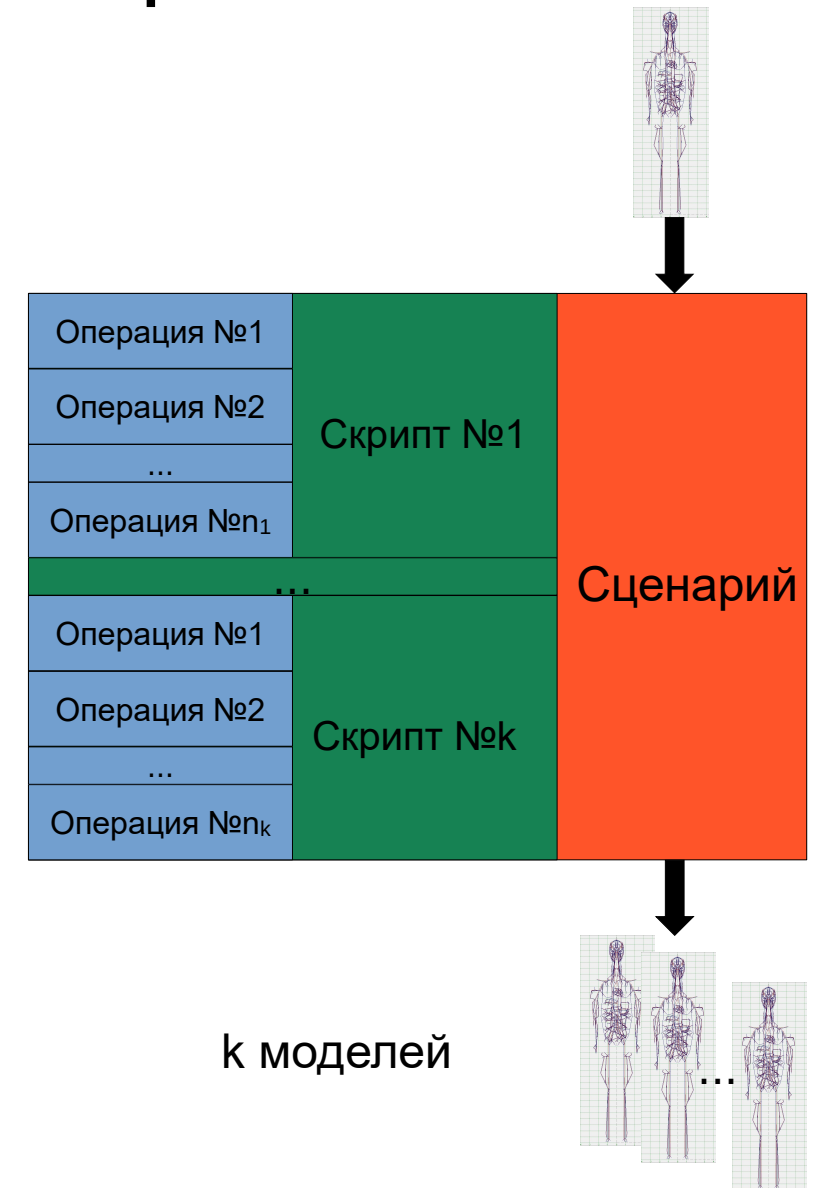


Основные цели

- Масштабирование возможностей моделирования в направлении генерации большого объёма данных
- Создание синтетических баз данных методами прямого математического моделирования
- Отработка применения методов диагностики средствами ИИ

Развитие процедуры моделирования

- Необходима возможность автоматического множественного клонирования моделей графа путем задания соответствующего сценария изменений.
- Введем понятия схемы клонирования моделей:
 - 1) Операция — атомарное изменение одного из параметров группы сосудов/узлов.
 - 2) Скрипт — совокупность произвольного количества операций.
 - 3) Сценарий — объединение любого количества скриптов.



Изменяемые параметры

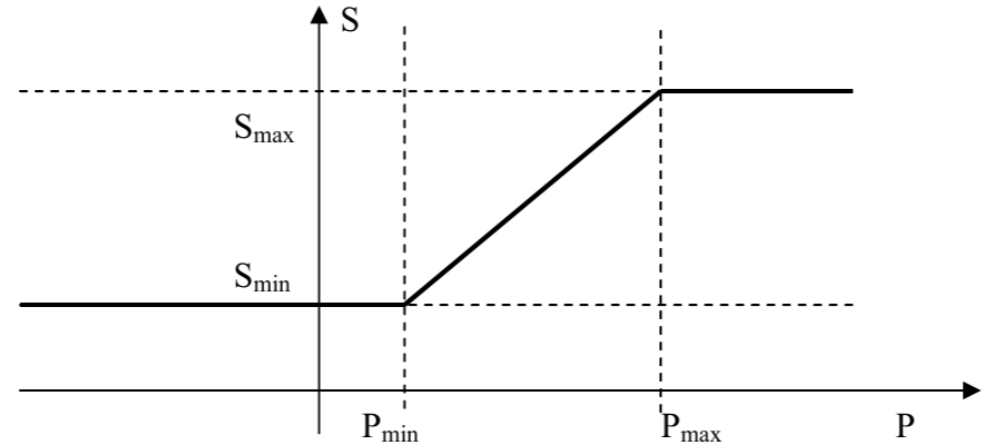
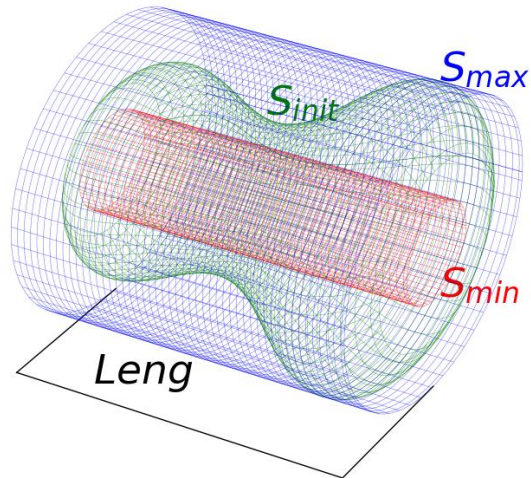
Сосуды:

- Уравнение состояния сосуда $S(p)$:

$$s(p) = \begin{cases} s_{\min} + \frac{s_{\max} - s_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}}(p - p_{\min}), & p_{\min} < p < p_{\max} \\ s_{\min} & , p < p_{\min} \\ s_{\max} & , p_{\max} < p \end{cases}$$

где $s_{\min}, s_{\max}, p_{\min}, p_{\max}$ являются характеристиками данного сосуда.

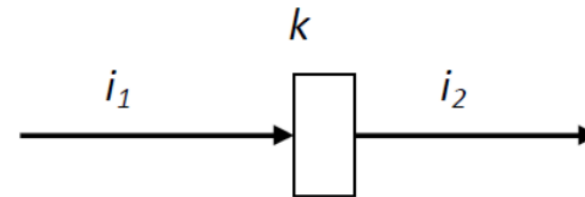
- Длина сосуда $Leng$:



Узлы:

- Коэффициент проницаемости $K_{D,k}$

$$u_{i_2,k} S_{i_2,k} = K_{D,k} (p_{i_1,k} - p_{i_2,k})$$



Реализация в интерфейсе

Задание сценария через интерфейс

Сценарий

Имя файла

- lungs500_0001
- lungs500_0002
- lungs500_0003
- lungs500_0004
- lungs500_0005
- lungs500_0006
- lungs500_0007**
- lungs500_0008

+ Add - Del % Inc % Dec

Скрипт

Kind	Mul	Type	ID	Tag
SInit	1.1	1		3
SMin	1.2		5	6
SMax	1.3			9
PMin	1.4	10	11	
PMax	1.5		14	15
Leng	1.6	16	17	18
Diff	1.7	19		

+ Add - Del Edit

Задание сценария через текстовый файл

```
# Количество скриптов
3
# Скрипт №1
# Количество операций
6
# Kind      Mul  Type  ID  Tag
SInit       0    -    -   -
Leng        10.75  2    -   -
PMax        2    -    -   -
Diff        2    -    -   -
Leng        2    -    0   0
SMin        2    0    0   1

# Скрипт №2
# Количество операций
6
# Kind      Mul  Type  ID  Tag
SInit       0    -    -   -
Leng        10.75  2    -   -
PMax        2    -    -   -
Diff        2    -    -   -
Diff        2    -    0   -
SMax        2    0    0   1

# Скрипт №3
# Количество операций
6
# Kind      Mul  Type  ID  Tag
Diff        0    -    34  -
Diff        10.75  2    -   -
Diff        2    -    -   -
Diff        2    24   24  -
Leng        2    -    0   0
SMin        2    0    0   1
```

Запуск расчетов

Серия расчетов

Модели

Модели	Версия
Coronar_ver1.mdl	1.0
Coronar_ver1_0001.mdl	1.0
Coronar_ver1_0002.mdl	1.0
Coronar_ver1_0003.mdl	1.0

Выбрать модели для расчетов

Очистить список

Расчеты

Время окончания: 1.0

☒ Начинать все расчеты заново

Запустить серию расчетов

Остановить серию расчетов

OK

Coronar_ver1_0003.mdl

Пример использования

Хотим получить вариацию модели по росту и комплекции:

1) Можем увеличить длину некоторой группы сосудов: $\|\tilde{l}\| = (1 + \alpha)\|l\|$.

2) Можем дополнительно потребовать изменение S .

В стационарном случае: $\Delta p = -8\pi\nu\rho\frac{Q}{S^2}l$

Можем потребовать: $\frac{8\pi\nu\rho l}{S^2} = \text{const}$

Тогда для S : $\tilde{S} = \sqrt{\frac{\tilde{l}S^2}{l}} = \sqrt{(1 + \alpha)}S$. Или же в терминах $S_{\min}$, $S_{\max}$ $\tilde{S}_{\min} = \sqrt{(1 + \alpha)}S_{\min}$, $\tilde{S}_{\max} = \sqrt{(1 + \alpha)}S_{\max}$

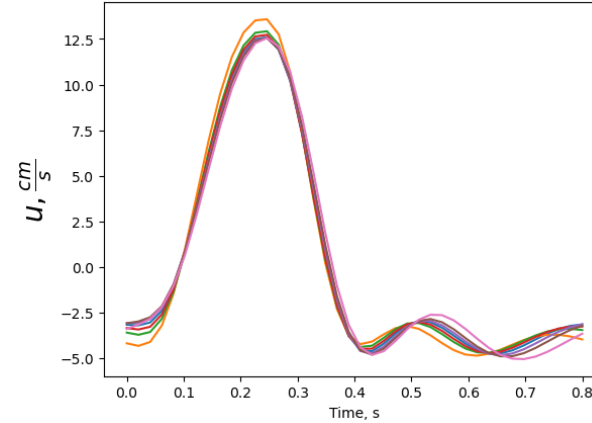
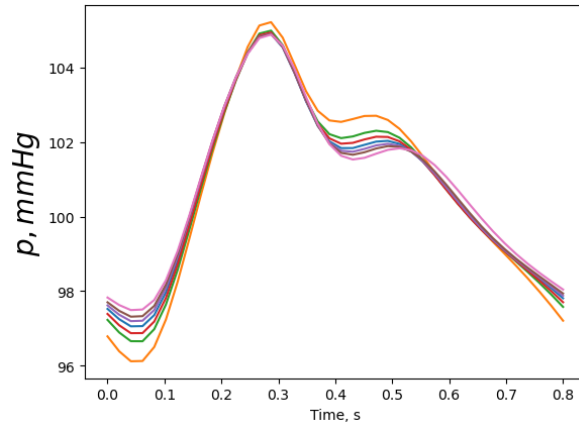
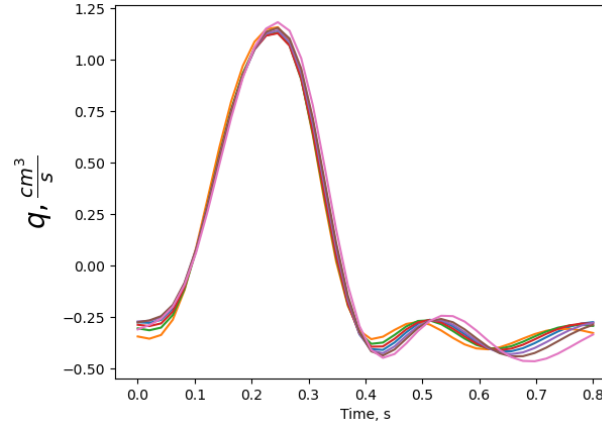
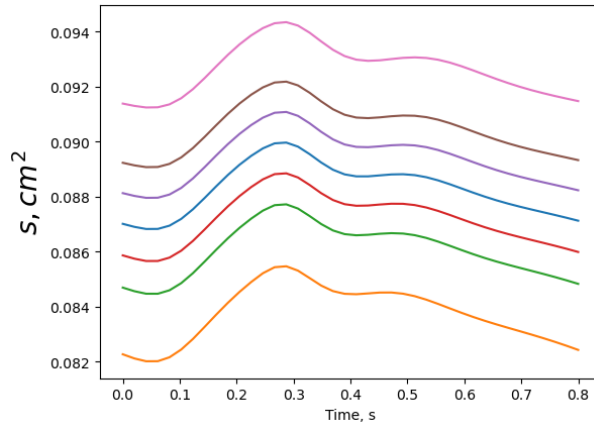
3) Можем потребовать изменения параметров сердца. Например, изменение

ударного объема V_s : $Q_A(t) = \begin{cases} V_s(4t - \frac{3t^2}{\tau_s})\frac{1}{\tau_s}, & 0 \leq t \leq \tau_s, \\ 0, & \tau_s \leq t \leq \tau_d + \tau_s, \end{cases}$

Ударный объем можно менять следующим образом: $\tilde{V}_s = (1 + \alpha)^{(\frac{3}{2}b + a)}V_s$

Константы a и b из формул для расчета BSA. Наиболее частое $a = b = \frac{1}{2}$

Получение данных



- Используя возможности задания сценариев в рамках работы с CVSS сгенерированы базы данных размера: 2700, 3600, 4500, 5600.
- Произведены расчеты до установления квазипериодического режима.
- Получены данные давления, скорости, потока на заданном отрезке времени.
- Получили синтетическую базу данных, на которой можно ставить почти любые задачи машинного обучения.

Пример использования

- Рассмотрены задачи дискриминативного машинного обучения с учителем: классификация и регрессия.
- Пример задачи классификации: диагностика патологий кровотока по периферийным данным.
- Пример задачи регрессии: восстановление значений кровотока в органах.
- В некоторых случаях увеличение выборки приводило к существенному

0	1	2	3	4	5		0	1	2	3	4	5	
0	1.0	0.493	0.515	0.543	0.669	0.659	0	1.0	0.543	0.661	0.898	0.994	0.989
1	0.493	1.0	0.507	0.565	0.687	0.670	1	0.543	1.0	0.563	0.891	0.993	0.981
2	0.515	0.507	1.0	0.537	0.669	0.657	2	0.661	0.563	1.0	0.870	0.991	0.991
3	0.543	0.565	0.537	1.0	0.635	0.602	3	0.898	0.891	0.870	1.0	0.987	0.985
4	0.669	0.687	0.669	0.635	1.0	0.526	4	0.994	0.993	0.991	0.987	1.0	0.854
5	0.659	0.670	0.657	0.602	0.526	1.0	5	0.989	0.981	0.991	0.985	0.854	1.0

Заключение

- Была разработана и реализована возможность создания больших синтетических баз данных кровотока на основе программного комплекса CVSS.
- Создание таких баз данных позволяет отрабатывать применение методов машинного обучения для задач диагностики.

Спасибо за внимание!